都内環境における原発事故由来放射能の挙動と将来予測に関する研究

保 坂 三 継^a, 小西 浩之^b, 冨 士 栄 聡 子^b, 小杉 有希^b, 池田 一 夫^c, 鈴木 俊也^b, 灘 岡 陽 子^c

平成24年度~平成26年度の3ヶ年で実施した健康安全研究センター重点研究「都内環境における原発事故由来放射能の 挙動と将来予測に関する研究」の主な成果を報告する.本研究を構成する個別研究それぞれの主な成果は以下のとおりで あった.①原発事故以降の都内空間放射線量の推移とその変動要因の解明では、東京電力福島第一原子力発電所事故直後 に観測された都内の空間放射線量率上昇の原因核種とそれによる都内の放射能汚染状況を明らかにするとともに、原発事 故時の都内7箇所におけるセシウム137降下量を推定し、さらに2020年末時点での都内の空間線量率の予測値を得た.②都 内降下物による放射性物質汚染評価では、都内において測定を開始した1963年から現在に至る間の降下物等中の放射性核 種の歴史的推移を整理し、福島原発事故による降下物中の放射性物質の状況を比較・評価した.また月間降下物中や陸水、 土壌などに残存する放射性セシウムの濃度や変動状況を解析し、月間降下物あるいは蛇口水中の放射性セシウムは2020年 前後にはおおむね不検出となる推定結果を得た.③放射性物質による都内地下水の汚染の可能性評価では、耕作地と非耕 作地に散布した非放射性セシウムの地下への移行は散布2年後でも深さ30-40 cmよりも下層には達しなかった.不飽和水分 移動汎用プログラムを用いたセシウムの土壌中垂直移行のモデル計算から、土壌中セシウムが最も浅い飲用井戸の深度1 mに到達するのは78年後、土壌中ピーク濃度は0.4 Bq/kgとの推定が得られた.④人口動態統計に基づく東京都及びわが国 の年代別の死亡動向と放射能汚染との関係解析では、疾病動向予測システムによって放射能汚染に関係すると想定される 全がん、白血病、甲状腺がんの死亡者について20世紀初頭もしくは中頃から現在までの統計情報を詳細に分析した.いず れも現時点において放射能汚染事象との関連を示す兆候はみられなかった.

キーワード:福島第一原子力発電所事故,モニタリングポスト,空間線量率,降下物,セシウム134,セシウム137,非 放射性セシウム,土壌中移行,シミュレーション,地下水,悪性新生物,白血病,甲状腺がん,人口動態統 計,年齢調整死亡率

はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災とそれに伴う大 津波によって全電源を喪失した東京電力福島第一原子力発 電所(以下,福島原発という)は、原子炉の冷却機能を失 い、炉心溶融とベントおよびそれに続く水素爆発によって 炉心内で生成した極めて大量の放射性物質を環境中に放出 した. この福島原発事故によって放出された放射性物質は 東北から関東一円に到達し、都内においても事故直後から 空間放射線量率の顕著な上昇や高濃度の放射性物質の降下 が認められた.しかし、今回の事故による都内の環境放射 能の詳しい状況や今後の汚染の推移並びにその健康に及ぼ す影響に関する情報は極めて不足しており、いまだに不明 な点が多い. したがって、これら都内の放射線および放射 能の挙動やその環境影響に関する各種のデータを収集・解 析して情報提供すること、また放射線の関与が疑われる疾 病との関連を示すことは、今後の環境衛生施策及び地域保 健施策に資する重要な研究課題である.

こうしたことから,筆者らは東京都健康安全研究センター(以下,当センターという)の重点研究として,平成24

年度から26年度の3ヶ年において標記研究を実施した。本 研究は4つの個別研究で構成され、それぞれの研究題名と 目的は以下のとおりである.

1. 原発事故以降の都内空間放射線量の推移とその変動要因の解明

当センター及び都内数箇所に設置されたモニタリングポ ストの測定結果及び降下物,土壤等の調査結果とあわせて, 福島原発事故後の都内の空間放射線の状況とその変動要因 等を明らかにし,さらに今後の都内空間放射線量の変化動 向を予測する.

2. 都内降下物による放射性物質汚染評価

1957年から現在までの環境放射能調査結果について体系 的にまとめ、都内における放射能汚染の状況や長期変動を 明らかにするとともに、福島原発事故以降の降下物、土壌、 水道水等の汚染実態との比較検討により今後の放射性物質 汚染状況の推移を予測する.

3. 放射性物質による都内地下水の汚染の可能性評価

福島原発事故によって都内の土壌に降下した放射性セシ ウムの土壌中移行状況を調査し、都民の飲用水等の生活用

- ^a東京都健康安全研究センター薬事環境科学部 169-0073東京都新宿区百人町 3-24-1
- ^b 東京都健康安全研究センター薬事環境科学部環境衛生研究科
- 。 東京都健康安全研究センター企画調整部健康危機管理情報課

水に利用されている地下水に混入する可能性を評価する.
 4. 人口動態統計に基づく東京都及びわが国の年代別の死亡動向と放射能汚染との関係解析

当センターが開発した疾病動向予測システムを用いて, 人口動態統計に基づいて放射能汚染に関係すると想定され る全がん,白血病および甲状腺がんによる東京都及びわが 国の歴史的・地理的死亡動向と放射能汚染との関係を詳細 に分析し,その特徴を考察する.

個別研究課題ごとの研究内容と成果の概要 1. 原発事故以降の都内空間放射線量の推移とその変動 要因の解明

空間線量率は人工放射性物質による汚染状況をよく反映 することから,モニタリングポスト(以下, MPという) の測定結果を詳細に解析することは、放射性物質による都 内の汚染状況及び今後の推移を知るうえで有用である. し かし、福島原発事故当時に都内で稼働していたMPは、国 の環境放射能水準調査のために当センター(新宿)に設置 されていた1台のみ(現行機は2006年から稼働)であった. 事故後、都は2011年12月に江戸川、小平の2ヶ所に、また 国は2012年4月に足立,大田,八王子,調布の4ヶ所にMP を増設した.本研究ではこれら都内7ヶ所のMPのNaI検出 器のマルチチャンネルアナライザによるスペクトル解析機 能(測定エネルギーの波高分布の描画機能)を活用して, MPによる空間線量率の測定データと降下物等の人工放射 能調査結果をあわせて解析することで、福島原発事故直後 の都内の人工放射性物質汚染の状況並びに以降の都内空間 放射線量率の推移とその変動要因を明らかにし、更に今後 の空間放射線量率の推移を予測した.なお、地方独立行政法 人東京都立産業技術研究センター(江東)のMPはスペク トル解析機能を持たないため、本研究の対象から除外した.

1)福島原発事故直後(2011年3月)の大気中の人工放射 性核種の動向と汚染状況の解明

新宿MPの2011年3月中の測定データで空間線量率に変動 があった時刻付近における測定エネルギーの波高分布の形 状の変化から都内に到達及び降下した人工放射性物質を推 定した.また同様に4月以降の空間線量率の変化要因を解 析し,福島原発事故との関連を検討した.

2011年3月の空間線量率(1時間の平均値)の推移を図1-1に 示した.3月1日から14日までの間は降雨による自然放射線 量の変動のみであり,3月15日の0時(①)の空間線量率は 0.0341 µGy/hであった.しかし,3月15日から16日にかけて4回 の空間線量率の急上昇が測定された.最も高い線量率は,2回 目の上昇時(②)の15日10時からの1時間に記録された最大値 0.809 µGy/h,1時間の平均値0.496 µGy/hであった.この急上 昇は15日の22時ごろまでに平常時の範囲(20日21時(③)から の1時間の平均値で0.0443 µGy/h)にまで減少したが,21日の8 時過ぎから22日にかけての降雨とともに空間線量率は再び上 昇し,22日20時(④)に1時間の平均値0.155 µGy/hをピークとし てその後は徐々に減少した.3月31日24時(⑤)では1時間の平



図1-1. 2011年3月の空間線量率(1時間の平均値)の推移 (新宿)

均値0.0975 µGy/hとなり, 0.100 µGy/hを下回った.

この①~⑤の時間帯における測定エネルギーの波高分布 を図1-2に示す.空間線量率上昇の直前①では、人工放射性 核種と考えられるピークは見られなかった. 空間線量率が最大 値の0.809 uGv/hとなった②では、¹³³Xe、¹³²Te、¹³¹I、¹³²Iなど原 発事故由来と考えられる複数の人工放射性核種のピークが確 認された.この4回の急上昇の後,空間線量率はすみやかに平 常時の範囲にまで低下しており,こうした人工放射性核種はそ のほとんどが気体状の放射性プルームとして東京を通過したも のと考えられた. また3月21日からの再上昇直前(③)では¹³¹Iの ほかいくつかの小さなピークが確認できることから,一部の放射 性核種は地上へ降下したと考えられた.その後、21日の8時過 ぎからの再上昇において最も空間線量率が高くなった④の測 定エネルギーの波高分布では、¹³²Te, ¹³¹I, ¹³²Iに加え、¹³⁴Cs 及び¹³⁷Csと考えられるピークが出現した. 当時、毎日行ってい た降下物の測定結果では、21日から23日の間に¹³¹I, ¹³⁴Cs及 び¹³⁷Csが集中して降下していた.また3月末の時点(⑤)でもこ れらの核種が確認できることから、21日の降雨に伴い多くの人 工放射性核種が地上に降下したものと考えられた¹⁾.



図1-2.2011年3月の空間線量率変動要因の解析結果 (波高分布)

2) 2011年4月以降の空間線量率の変動と異常値の解析

2011年3月末以降,空間線量率が急速に減衰した4月から 6月の3か月間と,その後,緩やかな減衰傾向を示している 2011年7月から2015年3月に分けて,その間の空間線量率の 変動要因を解析した.

(1) 2011年4月~6月の空間線量率の変動要因 2011年3月 から6月の空間線量率(1時間の平均値)の推移を図1-3に 示した. 3月末で1時間の平均値0.0975 µGy/hであった空間 線量率は、4月30日までの1か月で0.0676 µGy/hまで大きく減衰 し、その後も緩やかに低下しながら6月30日末では0.0609 µGy/hであった.この間の測定エネルギーの波高分布の変 化を図1-4に示した.この図の①と②を比較すると、2011 年4月の1か月間で¹³¹Iのピークが大きく減衰したことがわ かる.また¹³⁴Cs及び¹³⁷Csのピークも減衰しており、これ らの人工放射性物質の減衰状況は物理的半減期から想定さ れるよりも速く、ウェザリング効果による影響が大きかっ たものと考えられた.また5月末では¹³¹Iのピークはすでに 確認できず、¹³⁴Cs及び¹³⁷Csのピークも更に減衰した.



図1-3.2011年3月1日~6月30日の空間線量率(1時間の平均 値)の推移



図1-4.2011年4月~6月の空間線量率低下要因の解析結果 (波高分布)

次に、4月1日から6月30日までの間に一時的な空間線量 率の上昇が4月2回、5月5回、6月7回の合計14回あった.こ れらの上昇のつど測定エネルギーの波高分布を解析したと ころ,いずれも降雨による自然放射線の増加が原因と考えられ,人工放射性核種の新たな降下を確認できる事例はなかった.

(2) 2011年7月~2015年3月の空間線量率の推移と異常値 の解析 空間線量率は2011年7月以降も緩やかに低下し, 都内7か所すべてで測定されるようになった2012年4月12日 では,1日の平均値で区部(新宿、江戸川,足立,大田) 0.0503 ~0.124 µGy/h,市部(小平,八王子,調布) 0.0391 ~0.0419 µGy/hであった.また福島原発事故から4 年が経過した2015年3月31日では,区部0.033 ~0.065 µGy/h,市部0.033 ~0.034 µGy/hであり,市部と比べて区 部でやや高い傾向が認められるものの,自然の放射線のみ が存在するに近い状況にまで低下した.

この間に、都内7か所のMPで測定値に急な上昇が確認さ れた場合を異常値として、その全てのケースで測定エネル ギーの波高分布を解析し、変動原因を調査した.調査結果 を表1-1に示した.異常値は合計240回検出され、降雨によ るものが208回と最も多かった.その他、非破壊検査によ るX線を検出したと考えられる事例が8回、原因不明の事 例が24回あった.原因不明の理由としては、空間線量率の 上昇がごく短時間で波高分布の明確な変化として捉えられ なかったケース、または波高分布では医療用の放射性医薬 品と考えられる変化がみられたが、十分な裏付けが得られ なかったケースなどが挙げられる.

表1-1.2011年7月~2015年3月の異常値解析数とその原因

MP設置場所	降雨	非破壊検査	不明	合計
新宿	5	6	0	11
江戸川	15	0	4	19
大田	15	1	2	18
足立	31	0	9	40
小平	46	0	7	53
八王子	39	1	0	40
調布	57	0	2	59
合計	208	8	24	240

MP:モニタリングポスト

3) 都内の放射性セシウム降下量の試算と将来の空間線 量の推移の予測

(1) 都内の放射性セシウム降下量の試算 ¹³¹Iなど短半 減期の人工放射性核種が十分に減衰したと考えられる2011 年8月の新宿MPの空間線量率が,2011年3月中に当センタ ーで測定された毎日の¹³⁷Cs降下物量の実測値の合計

(8,500 Bq/m²)を反映していると仮定し,他のMP設置場 所の測定開始日の空間線量率をもとに2011年8月まで減衰 計算を逆算し,新宿MPの数値との比例計算によって各MP 測定場所における¹³⁷Csの降下物量を推定した.なお,推定 にあたり各MP設置場所の自然の空間線量を考慮する必要 から,便宜的に区部は新宿MPの事故以前の0.035 µGy/h, また市部はこれより0.005 μGy/h低い0.030 μGy/hと仮定し て差し引いた.結果は、区部(8,500)~40,000 Bq/m²,市 部2,400~3,800 Bq/m²となった(表1-2).この推定結果を 文部科学省の航空機モニタリング調査結果²⁾,第2次分布調 査結果³⁾と比較したところ、概ね近似した値であった.

表1-2. 都内の¹³⁷Cs降下量および2020年12月末の都内の 空間線量率の推定値

MP設置場所 ¹³⁷ Cs降下量 空間線量率 (Bq/m ²) (µGy/h) (2020年12月末時点) 新宿 (8,500) * 0.036
(Bq/m²) (μGy/h) (2020年12月末時点) 新宿 (8,500) * 0.036
(2020年12月末時点) 新宿 (8,500) * 0.036
新宿 (8,500) * 0.036
江戸川 40,000 0.043
大田 9,900 0.037
足立 13,000 0.037
小平 3,800 0.031
八王子 2,800 0.031
調布 2,400 0.031

MP:モニタリングポスト

* :新宿は実測値の合計

(2) 2020年12月における都内の空間線量率の予測 将来 の空間放射線量率を予測するために,2012年7月から2014 年12月までの間の,都内7か所のMPにおける測定エネルギ ーの波高分布上の¹³⁴Cs (796 keV)の1か月ごとの面積値の 推移から各MP測定場所の空間線量率の減衰に占める¹³⁴Cs の寄与分の半減期を求めると,1.43年~1.73年であった. 次に,空間線量率の半減期は放射性セシウムの物理的半減 期とウェザリング効果による半減期の合計と仮定し,¹³⁴Cs の寄与分の空間線量率の半減期と¹³⁴Csの物理的半減期 (2.065年)から下式によって¹³⁴Csのウェザリング効果に よる半減期を求めると4.65年~10.66年となった.

1	-1	-1
Tm	Tp	Tw

Tm:空間線量率の半減期

Tp:放射性セシウムの物理的半減期

Tw: 放射性セシウムのウェザリング効果による半減期

さらに、¹³⁴Csと¹³⁷Csは同位体なので環境中での化学的 挙動は同じとすれば、ウェザリング効果による¹³⁷Csの半減 期は¹³⁴Csと同じく4.65年~10.66年と考えられるので、これ と¹³⁷Csの物理的半減期から上式によって¹³⁷Cs寄与分の空 間線量率の半減期を求めると4.03年~7.87となった.

以上で求めた空間線量率の半減期を用い,2014年12月31 日の都内7か所のMPの空間線量率の平均値から将来の空間 線量率を減衰計算した.これによる2020年12月31日におけ る空間線量率の推定値を表1-2に示した.2020年12月末の 空間線量率は、区部で0.036 µGy/h~0.043 µGy/h,市部 0.031 µGy/hとなり,ほぼ自然の放射線のみが存在する状況に近いレベルまで低下するものと予測された.なお,ウェザリング効果を見込まず,放射性セシウムの物理的半減期のみから同様に計算した場合の2020年12月末の空間線量率は区部0.038 ~0.051 µGy/h,市部0.031 ~0.032 µGy/hであり,この場合でも十分に低いレベルまで減衰するものと考えられた.

2. 都内降下物による放射性物質汚染評価

原発事故による放射性物質の降下量やその変動を評価す るには、過去の放射性物質の降下状況の把握が不可欠であ ることから、都内における1960年代から現在までの環境試 料中の人工放射性物質の動向を歴史的背景と共に詳細に解 析した.さらに、福島原発事故に伴う放射性物質による都 内環境試料中の人工放射性物質の汚染状況とその推移及び 変動要因を明らかにした.また、降下物と蛇口水について は将来予測を行った.

1) 1963年から現在までの都内の環境試料中の人工放射 性物質の推移とその変動要因の解明

(1) 降水 福島原発事故前までの降水中の全ベータ放射 能は、1960年代から1980年頃までおおむね1 Bq/L前後で推 移していたがその後は漸減し、近年はほぼN.D.であった. 1960~70年代にかけては中国の大気圏内核実験が原因と思 われる全ベータ放射能のピークが少なくとも6回観察され た. 1986年4月26日に発生したチェルノブイリ原子力発電 所事故(以下,チェルノブイリ原発事故)においては、全 ベータ放射能は事故から8日後の5月4日から検出され、5月 6日の61 Bq/Lが最大値となり、5月23日の4.5 Bq/Lを最後に N.D.となった. また¹³¹Iが5月3日の降水から検出されはじ め,最大値は翌5月4日の344 Bg/Lであった. さらに,¹³⁷Cs は5月6日から検出されはじめ、最大値は5月12日の44 Bg/L、 ¹⁰³Ruは5月4日から検出されはじめ,最大値は5月12日に78 Bg/Lとなるなど、5月4日~12日にかけてチェルノブイリ原 発事故に由来する人工放射能濃度のピークが認められた. 5月30日以降,これらはいずれも不検出となった⁴⁾.

(2) 月間降下物 調査を開始した1963年から現在までの, 東京都における月間降下物中の¹³⁷Cs及び⁹⁰Srの経年変化を 図2-1に示した⁵⁾. 両核種の降下量は調査開始当初の1963年 5月に¹³⁷Csで303 Bq/m², ⁹⁰Srで224 Bq/m²と高く, 7月まで は¹³⁷Cs及び⁹⁰Sr共に100 Bq/m²を超えていた. しかし, 1963 年8月に英国・米国・ソ連による部分的核実験禁止条約が 締結されて以降は100 Bq/m²を下回った. その後,中国に よる大気圏内核実験の影響による若干のピークの出現や周 期的な増加を認めながらも,全体的には減少傾向を示した.

周期的な変動の原因は、大気圏内核実験で成層圏まで拡 散した放射性物質が、成層圏と対流圏での大気の交換が活 発化する春季に対流圏に流入し、地表に落下したためであ る.これはスプリングピークと呼ばれ、東京では1965年か ら1983年頃まで見られた.降下量は、1970年台は数Bq/m² 前後、1986年のチェルノブイリ原発事故の前にはN.D.~



¹³⁷Cs (~1989年) 及び⁹⁰Sr:日本分析センター測定.

¹³⁷Cs (1990年~):東京都健康安全研究センター (2002年以前の名称は東京都立衛生研究所)測定 N.D.:計数値が計数誤差の3倍以下のもの



図 2-2. 東京都における 2011 年以降の月間降下物中の¹³⁴Cs 及び¹³⁷Cs の経年変化並びに将来予測(破線)

0.1 Bq/m²前後まで減少した.

1986年4月のチェルノブイリ原発事故により降下量は一 過性に上昇し、1986年5月には¹³¹Iで277Bq/m²、¹³⁷Csで 178Bq/m²、⁹⁰Srで1.7Bq/m²となり、他にも短半減期あるい は比較的沸点の高い人工放射性核種が12核種検出された. ¹³⁷Cs及び⁹⁰Srは1986年5月をピークに急激に減少し、1987 年後半には事故前のレベルとなった⁵⁾.

降下物中の¹³⁷Cs及び⁹⁰Srはチェルノブイリ原発事故後も 減少し,福島原発事故前は¹³⁷Csが春季にわずかに検出さ れることはあったものの,1994年4月以降,福島原発事故 前までは、¹³⁷CsはN.D.,⁹⁰SrはN.D.~0.05 Bq/m²で推移した. 大気圏内核実験が停止されてから30年以上が経過し,成層 圏からの供給がなくなったにもかかわらず春に極微量検出 される理由としては、それまでに降下し、まだ地表に残留 している放射性物質が付着した表土粒子が風塵などの現象 によって再浮遊し、再度地上に降下した可能性があげられ る.この表土粒子は、¹³⁷Cs/⁹⁰Sr比から大陸の黄土高原由来 であることが示唆されている⁹.

図2-1に示すように、福島原発事故が発生した2011年3月

の¹³⁷Csの降下量は1963年の調査開始時及びチェルノブイ リ原発事故時よりも1桁高い8,100 Bq/m²であった.⁹⁰Srは 最大で0.89 Bq/m²であり,1970年代後半~1980年代前半の レベルであった.この他にも、チェルノブイリ事故時と同 様、比較的沸点の低い短半減期の¹³¹I (29,000 Bq/m²) や原 子炉内で長期蓄積する放射化生成物である¹³⁴Cs,あるい は^{129m}Te,¹²⁹Te,¹³⁶Cs,^{110m}Agなど、計6核種が検出された. 一方、チェルノブイリ原発事故時とは異なり、沸点の高い ¹⁰³Ru,¹⁴¹Ce等は検出されなかった⁵⁾.降下量は4月以降急 激に減少し、短半減期核種は2011年9月には全て消失した. その後は月により若干の変動はあるが緩やかな減衰傾向を 示し、2015年には¹³⁷Csは概ね1970年台の終わりから1980 年代の始め頃の、また⁹⁰Srは事故前のレベルとなった.

図2-2に2011年以降の月間降下物中の¹³⁴Cs及び¹³⁷Csの季 節変化ならびに2020年までの降下量の予測を示した.降下 量は2011年11月までにおおむね10 Bq/m²以下まで減少し, その後は晩秋から春先にかけての乾燥期(図2-2の赤色部 分)に高く,湿潤な梅雨期から秋(図2-2の青色部分)に かけて低くなるという季節変動を繰り返しながら漸減して いる. 乾燥期の月間降下物では土壌由来と考えられる⁴⁰K がしばしば認められることから,この季節変動は,都内あ るいは東京周辺の土壌粒子等が乾燥により土ぼこりなどと して舞い上がり,これに吸着した¹³⁴Cs,¹³⁷Csが降雨や風 によって採取器内に降下したことによるものと考えられた. こうしたことから,月間降下物中の放射性セシウムは,今 後も季節による多少の増減を繰り返しながら徐々に低下し ていくと考えられる.

(3) 土壌 当センター内で採取した深さ0-5cmの土壌中 における¹³⁴Cs及び¹³⁷Csは,2011年9月にそれぞれ6,700 Bq/m²及び8,000 Bq/m²であり,3年後の2014年には¹³⁴Csは 半減期による減少がみられたものの,¹³⁷Csはほとんど変 化がなかった.深さ5-20cmでは,2011年9月から3年後の 2014年までの4回の測定で,¹³⁷Csが約500→2,000→1,800→ 3,200 Bq/m²と変化したが,放射性セシウムは土壌に吸着 して降雨等で容易には下層に浸透せず,上層部に留まると 考えられていること,また検体採取場所における放射性セ シウムの分布のばらつきを考慮すると,これの結果を以て ただちに下層に浸透しているとは言い難いと思われる.

(4) 陸水 1970年から調査を開始した陸水のうち,金町 浄水場の浄水(以下,金町浄水という)の¹³⁷Csは,開始 当初の約1 mBq/Lから徐々に減少し,1988年以降は福島原 発事故の前までN.D.であった.福島原発事故以前の最高値 は1970年12月の1.9 mBq/L,次いでチェルノブイリ事故後 の1986年6月の1.5 mBq/Lであった.調査当初は数mBq/L検 出されていた⁹⁰Srも同様に漸減傾向を示したが,¹³⁷Csと同 程度の半減期であるにも関わらず,減少の度合いは¹³⁷Cs に比べると緩やかで,福島原発事故前も約1 mBq/L検出さ れていた.またチェルノブイリ原発事故時(1986年)によ る⁹⁰Srの上昇は認められなかった.¹³⁷Csが⁹⁰Srと異なり福 島原発事故前にはN.D.となっていた理由としては,セシウ ムはストロンチウムに比べてイオン化傾向が大きく,マイ ナスに帯電している土壤に強く吸着され,水系に容易に流 出しにくい可能性が考えられる.

福島原発事故後の2011年6月に採水した金町浄水中の ¹³⁷Cs濃度はそれまでの測定値よりも格段に高い68 mBq/L であり、また¹³⁴Csを初めて検出し、その濃度は¹³⁷Csとほ ぼ同じ62 mBq/Lであった.一方、⁹⁰Srは1.1 mBq/Lであり、 チェルノブイリ原発事故時と同様、明確な上昇はみられな かった.その後、¹³⁴Cs及び¹³⁷Csの値は年を追って減少し、 2014年に¹³⁷Csは4.9 mBq/L、¹³⁴Csは1.5 mBq/Lとなったが、 いまだに福島原発事故以前のレベルまで戻っていない.

また、2012年1-3月から測定を開始した当センターの蛇 ロ水3か月分(約100 L)を濃縮した試料の2012年以降の ¹³⁴Cs及び¹³⁷Csの濃度変化を図2-3に示した.半減期約2年の ¹³⁴Csは明らかに減衰し、また¹³⁷Csはばらつきながらも低 下傾向を示しているものの、2015年時点でも蛇口水中に検 出されており、放射性セシウムが沈着した土壌の水源河川 中への流出が続いていることをうかがわせた.



N.D 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 _{採取年} 図2-3. 東京都健康安全研究センターの濃縮蛇口水中の ¹³⁴Cs及び¹³⁷Cs の推移並びに将来予測(破線)

2) 都内の降下物及び蛇口水中の放射性セシウムの今後の汚染動向の推定

(1) 降下物 図2-2に,減衰が緩やかになった2011年6月 以降から求めた¹³⁴Cs及び¹³⁷Cs降下量の近似曲線による予 測(破線)を示した.近似曲線は¹³⁴Csがy=33.5e^{-0.0960x}, ¹³⁷Csはy=31.2e^{-0.0696x}であった.R²はそれぞれ0.58,0.42と やや低いが,これは季節変動という増減を伴いながらの減 少であるためと考えられた.近似曲線から求めた半減期は ¹³⁴Csが約0.60年,¹³⁷Csは0.83年であり,特に¹³⁷Csにおいて は物理的半減期から考えられる減衰よりもかなり早く,ウ ェザリング効果による影響を大きく受けていると推察され た.近似曲線から求めた推定値より,¹³⁴Csは2016年から 2017年頃,¹³⁷Csは2019年から2020年頃にN.D.になり始める と予測された.

(2) 蛇口水 図2-3に当センター蛇口水中の¹³⁴Cs及び ¹³⁷Cs濃度の近似曲線による予測(破線)を示した.近似 曲線は¹³⁴Csがy=2.87e^{-0.123x},¹³⁷Csはy=3.75e^{-0.0589x}であった. R²はそれぞれ0.89,0.58であり,¹³⁴Csでは高かったが, ¹³⁷Csではやや低かった.近似曲線から求めた半減期は ¹³⁴Csが約1.4年,¹³⁷Csは2.9年であった.この¹³⁴Csの半減期 は空間放射線量から予測した¹³⁴Csの半減期(**課題1.**を 参照)に近い値であり,このことからも放射性セシウムが 沈着した土壌が定常的に水源河川中へ流出している可能性 が示唆された.近似曲線から求めた推定値より,¹³⁴Csは 2016年から2017年頃にN.D.に,¹³⁷Csは2020年よりさらに先 の時点でN.D.になると予測された.

3. 放射性物質による都内地下水の汚染の可能性評価

地下水は水質が比較的良好で,水道原水や個人用井戸水 として長年利用されている.このうち深さ30m未満の井戸 からくみ上げる地下水は主として地表に降った雨水が涵養 源として考えられ,施肥や化学物質による人為的な汚染の 影響を受けやすい.一方,都内においても,福島原発事故 によって比較的半減期の長い人工放射性核種である¹³⁴Cs や¹³⁷Cs(以下,放射性セシウム)が降下し,土壤中に残 存している⁷⁾.このため,これらの核種が土壤中を鉛直方 向に移動し,地下水に混入することが懸念される.

そこで我々は,放射性セシウムの同位体で,理化学的性 状が同様とみなすことができる非放射性セシウムのセシウ ム133 (¹³³Cs:以下,セシウムという)をトレーサーとし て用いて,セシウムの鉛直方向への土壌中移行を調査し, 得られたデータを基に放射性セシウムによる都内地下水の 汚染の可能性を評価した.

1) 土壤中非放射性セシウムの分析法の検討

土壌中のセシウムの分析法を確立するため、硝酸,フッ酸の存在下,マイクロウエーブ分解後,ICP-MSで測定する方法を検討した.

EPAのMethod3052⁸⁾を参考にし,硝酸量を10 mLに固定 したうえで,分析に供する土壤量,添加するフッ酸量につ いて検討した結果,土壤量は0.1 g,フッ酸は3 mLが最適 であった.ICP-MS測定では,セシウムおよび内部標準物 質であるインジウムの測定質量数をそれぞれ133および115 とした.本分析法の土壤中セシウム定量下限値は0.2 mg/kg,添加回収率は93±5% (添加濃度 1 mg/kg風乾土, n=5)であり,土壤中セシウムの分析法として適当である ことがわかった⁹.

2) 東京都内土壌における非放射性セシウムの土壌中移 行調査

耕作地及び非耕作地に塩化セシウム(非放射性)を散布 し、セシウムの土壌中での移行について調査した.調査地 は立川市内にある試験農場内の耕作地及び非耕作地とした. また、セシウムを散布する実験区と散布しない対照区をそ れぞれに設けた.

セシウムを散布した耕作地における耕作深度(深さ0-20 cm)の土壤中セシウム濃度は季節的変動がみられ,土壤 中の各種の理化学性状と比較検討したところ,セシウムは 1価の陽イオンと同じ挙動を示すことが推察された.また, セシウムを散布していない対照地の耕作深度(深さ0-20 cm)の土壤とセシウムを散布した耕作地の耕作深度の土 壤中のセシウム濃度の経時的な変化を比較すると,回帰直 線の傾きは散布した耕作地の方がやや大きかった.この原 因としては,新たに散布したセシウムの自然要因(ウェザ リング効果)による減少とともに,散布したセシウムの土 壤下層への移行⁹⁾や当該耕作地に植えた作物によるセシウ ムの吸収が考えられた.

また調査期間中(2012年~2014年)の毎年4月採取分に おいては、各実験区画において10 cmごとに50 cmまで深度 別の土壌調査を行った.ただし、耕作地については耕作深 度である深さ0-20 cm を1試料とした.散布したセシウム の土壌中濃度(散布セシウム濃度)は、(散布土壌中セシ ウム濃度-非散布土壌中セシウム濃度)で求めた.耕作地 の散布区における0-40 cmの土壌中散布セシウム濃度の深 度別の経年変化を図3-1に示す.深さ0-20 cmではセシウム 濃度が減少し、20-30 cmでは2012年から2014年の2年間で 0.5 mg/kgから2.0 mg/kgに増加していた.しかし、さらに 下層である30-40 cmではセシウム濃度が増加しなかった. 同時に調査した非耕作地についても深さ0-10 cmの層のセ シウム濃度は経時的に減少し、10-20 cmの層で増加したが、 さらに下の20-30 cm層ではセシウム濃度は増加しなかった.



図3-1. 耕作地における深度別土壌中セシウム濃度

以上の結果から,耕作地及び非耕作地のどちらにおいて も、土壌表面に散布されたセシウムの一部は散布後に土壌 の下層へ移行するが、2年後では30~40 cm以下の層まで達 しないことが分かった.

3) シミュレーションモデルを利用したセシウムによる 地下水汚染の可能性評価

土中の水分・溶質・熱の一次元移動のシミュレーション が可能である不飽和水分移動汎用プログラムHYDRUS-1D を利用して、セシウムの土壌中垂直移行速度及び移行後の 濃度推定値の算出を試みた.計算に使用した分配係数,飽 和透水係数,飽和土壌含水量及び土壌密度は,2012年に耕 作地で実測した値をそれぞれ使用した.

初めに、上記2)の耕作地土壌についてモデル計算で得られた計算値(シミュレーション値)と実態調査の値(実 測値)とを比較した.結果を表3-1に示す.適合率84-684% となり、このシミュレーションモデルは表層のセシウムの

表3-1. シミュレーション値と実測値との比較

土壤採取	土壤採取年			
深さ	2012	2013	2014	
0-20 cm	1.00	0.93	0.89	
20-30 cm	1.00	0.86	0.88	
30-40 cm	1.00	1.98	6.84	
40-50 cm	1.00	2.30	3.67	

シミュレーション値^a/実測値^b

a:シミュレーション結果の土壌中セシウム濃度

b:実態調査結果の土壌中セシウム濃度

土壌中垂直移行の表現が可能であった.また,深さ30 cm より下層ではシミュレーション値が実測より高いことから, セシウムの垂直移行について安全側の予測が可能であった.

次に、将来に亘る放射性セシウムの土壌中移行を予測した.まず、HYDRUS-1Dによる土壌中セシウムの垂直移行 シミュレーション結果を図3-2に示す.土壌中セシウムの 濃度ピークは0年後の2012年から8年後の2020年には表層か ら7 cm, 30年後の2042年には表層から37 cmに移動すると 予測された.次いで,この結果を基に,初期状態を2012年 (0年後)に放射性セシウムが全て¹³⁷Csとして耕作地表面 に一様に降下したと仮定し,¹³⁷Csの崩壊による減衰も考 慮に入れて算出した土壌中放射性セシウム濃度は,8年後 及び30年後にそれぞれ4.3 Bq/kg及び1.4 Bq/kgとなった.さ らに,当センターで水質検査実績のある飲用井戸の深さは 最も浅い井戸で1 mであり,井戸深度が地下帯水層と一致 すると仮定すると,土壌中を垂直移動した放射性セシウム の濃度ピークが深さ1 mに到達するのは78年後であり,そ の濃度は0.4 Bq/kgと算出された.なお,この値は安全側に 予測された値である.この土壌中放射性セシウムが,実験 を実施した土壌におけるセシウムの固相-液相間分配係数

(約40 mL/g) に従って地下水に溶出すると仮定すると, 地下水濃度は約0.01 Bq/kgとなる.これは放射性セシウム の飲料水基準値である10 Bq/kg¹⁰⁾の1/1000の濃度である.



以上の結果より,福島原発事故により降下した放射性セシウムが地下水を汚染する可能性は低いと予測された.

人口動態統計に基づく東京都及びわが国の年代別の 死亡動向と放射能汚染との関係解析

東京都健康安全研究センターで開発している疾病動向予 測システム¹¹⁻¹⁶(SAGE: Structural Array GEnerator)を用 いて,国の人口動態統計やWHOの世界人口推計を基に, 環境放射能との関連が懸念される悪性新生物,白血病及び 甲状腺がんによる1899年から2012年までの死亡状況につい て詳細な分析を加えるとともに,2027年までの死亡者数の 予測を行った.また,現時点でのこれらの死因による死亡 の状況について都道府県ごとの地域マップで示した¹⁷⁻¹⁹. さらに,甲状腺がんについては年齢調整死亡率による各国 比較についても検討した¹⁹.

1) 疾病分類の変遷

わが国では、1899年から中央集査による人口動態統計が 実施されている(1944年から1946年を除く).この情報を 利用することにより100年以上にわたる日本人の死亡現象 を解析することが可能である. 悪性新生物については、第2次世界大戦の影響で人口動 態統計が欠損している1944年から1946年を除いて、日本で 最初に人口動態がまとめられた1899年から現在までの情報 が利用できる.一方、白血病が人口動態統計で集計開始さ れたのは1933年であり、その情報も1944年から1957年まで は欠損しているため、長期的な情報として利用できるのは 1958年以降に限られる.また、甲状腺がんが人口動態統計 で集計開始されたのは1955年であり、国際疾病・傷害・死 因統計分類の変遷と時を同じくしてそのコードが変わり今 日に至っている.

2) 年次推移と今後の動向

(1) 総数の年次推移 1899年の悪性新生物による死亡者 数は, 男子9,780名, 女子9,602名であったが, 2012年には 男子215,110名, 女子145,853名と急増している. 白血病に よる死亡者数は, 1933年の男子1,032名, 女子865名から, 2012年には男女それぞれ4,779名, 3,121名と増加している. 甲状腺がんによる死亡者数は1955年には男子40名, 女子 116名であったが, 2012年には男女それぞれ550名, 1,144 名となっている.

(2) 今後の動向予測 悪性新生物による死亡者数の増加 率は男女とも年々減少してきている.男子では2010年代半 ばに約22万名弱に達し,その後減少し,2027年頃には20万 名程度になると予測される.女子では2020年代半ばに16万 名弱に達し,2027年頃まで同様の程度で推移する予測され る.白血病による年間死亡者数は,2020年頃に男子4,900 名,女子3,400名程度でピークを示した後微減し,2027年 頃には男女それぞれ4,400名と3,300名程度と予測される. 甲状腺がんの2027年における年間死亡者数は男子600名強, 女子1,100名ほどになると予測された.

3) 平均死亡率比などによる都道府県比較

(1) 悪性新生物 悪性新生物の平均死亡率比マップを男 女別に図4-1の1)と2)に示した.平均死亡率比は,ほと んどの地域で0.90以上1.10以下となっており,それほど大 きな地域差は観測されない.その中で青森の男子と大阪の 男女が1.10を超え,他の地域と比較して悪性新生物による 死亡が多い.一方,沖縄の男女,長野の男子,岡山の女子 は0.90以下になっており,悪性新生物による死亡が少ない ことが注目される.

(2) 自血病 白血病の平均死亡率比マップを男女別に図 4-1の3) と4) に示した. 白血病の平均死亡率比は特異な 分布を示している. 男女とも九州一帯がきわめて高い平均 死亡率比を示す. その中で特に沖縄と鹿児島は男女とも平 均死亡率比2.0前後と非常に高い値を示している. 九州は ウイルス性の悪性腫瘍である成人T型白血病(ATL)の多 発地帯として知られている. しかし, 白血病には急性と慢 性の骨髄性白血病, 急性と慢性のリンパ性白血病, 単球性 白血病などさまざまな種類があり, それぞれ別の病気とし て分類されている. またATLは白血病全体からみればその 占める割合は大きくない. そのため, 九州における白血病



図4-1. 平均死亡率比などによる都道府県比較

の多発傾向の理由を、ただちにATLやその病原ウイルスの 分布状況のみに帰することはできないと思われる.

(3) 甲状腺がん 都道府県ごとのデータは男女別に総数 のみ公表されている. そのため, 平均死亡率比による都道 府県比較はできない. そこで、都道府県別の男女別死亡総 数を用いて標準化死亡比による比較を行った.甲状腺がん による死亡者数が少ないため,都道府県比較を行うにあた り, 死亡者数としては, 2006年から2010年の合計値と2008 年から2012年の合計値の2つを用いた.また、都道府県別 性別年齢階級別人口として2010年の国勢調査人口を用いた. 分析の結果を男女別に図4-1の5)と6)に示した.男子で は北海道・宮城・福岡・富山などで、女子では北海道・青 森・長崎・富山・滋賀などで標準化死亡比が総じて高いこ とがわかった. 放射線被ばくの影響が懸念される福島近県 の2006-2010年の標準化死亡比と2008-2012年のそれとの比 較を行った.福島では男子が0.70から1.12へと増加してい るのに対し女子では0.77から0.78とほとんど変化していな い. 茨城では男子が0.88から1.01へ, 女子が0.77から0.92へ といずれも微増している. 宮城では男子が1.30から1.22へ 微減しているのに対し、女子が0.90から0.89へとほとんど 変化していない. 甲状腺がんは死亡数の少ない死因である ため、都道府県における死亡数のわずかな変化が標準化死

亡比に大きな変動を与える.したがって,標準化死亡比の 解釈については十分な注意が必要であると考える.放射線 被ばくの影響を評価するためには,今後の動向を注視して いく必要があろう.

4) 甲状腺がんの7か国年齢調整死亡率

図4-2に日本,アメリカ,ドイツ,イタリア,フランス, スウェーデン,オランダ計7か国の年齢調整死亡率(基準 人口:1990年ヨーロッパ人口)を示した.

日本,アメリカ,ドイツ,イタリア,フランス,スウェ ーデン,オランダ計7か国の年齢調整死亡率をみると,ア メリカでは1955年から1985年頃まで一貫して減少し,最近 は微増している.一方,他の諸国では1955年から1975年頃 まで多少の増減はあるものの概ね増加し,その後停滞から 減少に転じている.アメリカの年齢調整死亡率が他の諸国 と異なる挙動を示している理由は不明である.大気圏内核 実験などにより放出された大気中の放射線による被ばくは 全地球的なものと考えられる.放射線による被ばくが甲状 腺がんの死亡状況に影響を与えるならば,アメリカと他の 6か国の年齢調整死亡率の挙動は同様になると推測される. しかし,アメリカだけがその挙動を異にする.環境放射線 の健康への影響についての仮説は,この事実も十分に説明 することができるものである必要があろう.



5) 結論

疾病動向予測システムを用いてわが国の人口動態統計に 基づく悪性新生物,白血病及び甲状腺がんによる死亡の歴 史的および都道府県別状況を分析するとともに,甲状腺が んについては年齢調整死亡率による日本と欧米各国との比 較を行った.現時点では、悪性新生物,白血病,甲状腺が んのいずれにおいても,これらの疾病による死亡状況と福 島原発事故による放射能汚染事象との関連を示す兆候は観 察されなかった.また甲状腺がんの年齢調整死亡率におい て日本は他のヨーロッパ諸国と同様の傾向であったが,米 国はこれらとはやや異なっていた.

謝辞本重点研究「都内環境における原発事故由来放射能の挙動と将来予測に関する研究」の個別研究3. 放射性物質による都内地下水の汚染の可能性評価において、土壤試料の採取と調製にご協力いただきました東京都農林総合研究センター松浦里江様、益永利久様、坂本浩介様(当時)に深謝いたします。

献

 小西浩之, 冨士栄聡子, 生嶋清美, 他: RADIOISOTOPES, 64(3), 185-195, 2015.

文

 原子力規制委員会:文部科学省による東京都及び神奈 川県の航空機モニタリングの測定結果について、平成 23年10月6日.

http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/5000/4897/24/1910 _100601.pdf (2015年8月29日現在. なお本URLは変 更または抹消の可能性がある.)

 原子力規制委員会:ガンマ線放出核種(セシウム134、 137、銀110m)の核種分析結果(第2次分布状況調査)(平 成24年3月1日時点)
 http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/7000/6212/24/338_

1_120912_rev130701.pdf (2015年8月29日現在. なお 本URLは変更または抹消の可能性がある.)

- 4) 冨士栄聡子,小西浩之,生嶋清美,他:東京健安研セ 年報,64,181-187,2013.
- 5) 冨士栄聡子,小西浩之,生嶋清美,他:東京健安研セ 年報, **65**,237-243,2014.
- 6) 五十嵐康人:エアロゾル研究, 17(4), 252-258, 2002.
- Ohno, T., Muramatsu, Y., Oda, K., et al.: Geochem. J., 46 (4), 287-295, 2012.
- 8) US EPA: SW-846 Method 3052. http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/30 52.pdf(2015年8月29日現在,なお本URLは変更また は抹消の可能性がある)
- 小杉有希,鈴木俊也,保坂三継,他:東京健安研セ年 報,65,231-236,2014.

(2015年8月29日現在,なお本URLは変更または抹消の可能性がある)

- 東京都健康安全研究センター:SAGE (疾病動向予測 システム)
 http://www.tokyo-eiken.go.jp/sage/(2015年8月29日現在, なお本URLは変更または抹消の可能性がある).
- 12) 池田一夫,竹内正博, 鈴木重任:東京衛研年報, 46, 293-299, 1995.
- 13) 池田一夫, 上村 尚:人口学研究, 30, 70-73, 1998.
- 14) 池田一夫, 伊藤弘一: 東京衛研年報, 51, 330-334, 2000.
- 15) 倉科周介,池田一夫:日医雑誌, 123, 241-246, 2000.
- 16) 倉科周介:病気のなくなる日-レベル0の予感-,
 1998,青土社,東京.
- 池田一夫,杉下由行:東京健安研セ年報,63,287-292, 2012.
- 18) 池田一夫, 杉下由行: 東京健安研セ年報, 64, 219-225,

厚生労働省健康局水道課長:水道水中の放射性物質に 係る指標の見直しについて,健水発0305第1号,水道 水中の放射性物質に係る管理目標値の設定等につい て(別紙),2012.
 http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000018ndf.html

2013.

19) 池田一夫,関 なおみ:東京健安研セ年報,65,269-274,2014.

発表 実績

2012年

- ・保坂三継, 灘岡陽子,小西浩之,他:東京都健康安全研 究センターにおける福島第一原子力発電所事故対応 – 環境放射能測定ならびに情報提供の取組–,東京健安研 セ年報, **63**, 13-27, 2012.
- ・池田一夫,杉下由行:日本における全がんと白血病による死亡の歴史的状況と今後の動向予測,東京健安研セ年報, 63,287-292,2012.
- ・富士栄聡子,小西浩之,保坂三継,他:東京都における 放射能調査,第54回環境放射能調査研究成果論文抄録集 (平成23年度),2012.

2013年

- ・小西浩之, 冨士栄聡子, 生嶋清美, 他:都内の放射線量の推移とモニタリングポスト異常値対応, 東京健安研セ 年報, 64, 173-179, 2013.
- ・富士栄聡子,小西浩之,生嶋清美,他:東京都健康安 全研究センターにおける環境放射能調査の概要及び降 水中の全ベータ放射能の推移,東京健安研セ年報,64, 181-187,2013.
- 池田一夫,杉下由行:日本における全がんと白血病による死亡の歴史的・地域的状況,東京健安研セ年報,
 64,219-225,2013.
- ・小西浩之, 冨士栄聡子, 保坂三継, 他:モニタリング ポストスペクトル解析による原発事故前の都内の環境 放射線量推計の試み, 第2回環境放射能除染学会発表会 (東京), 2013.
- ・小西浩之, 冨士栄聡子, 保坂三継, 他:モニタリング ポスト測定データのスペクトル解析から見た都内放射 線量の推移とその要因分析, 第50回アイソトープ・放 射線研究発表会(東京), 2013.
- ・富士栄聡子,小西浩之,保坂三継,他:福島第一原子 力発電所事故以降の都内降下物及び蛇ロ水中の人工放 射性物質の推移,第50回アイソトープ・放射線研究発 表会(東京),2013.
- ・小西浩之, 冨士栄聡子, 保坂三継, 他:都におけるモ ニタリングポストの対応と解析事例, 平成24年度地方 衛生研究所全国協議会関東甲信静支部第25回理化学部 会総会・研究会(栃木), 2013.
- ・冨士栄聡子、小西浩之、保坂三継、他:東京都における降水及び降下物中の人工放射性物質の経年変化、平

成24年度地方衛生研究所全国協議会関東甲信静支部第 25回理化学部会総会・研究会(栃木), 2013.

2014年

- ・富士栄聡子,小西浩之,生嶋清美,他:東京都におけ る降下物及び陸水中の人工放射性物質の経年変化,東 京健安研セ年報,65,237-243,2014.
- ・小杉有希,鈴木俊也,保坂三継,他:土壌中非放射性 セシウムの分析法及び都内農場における下方移行,東 京健安研セ年報,65,231-236,2014.
- 池田一夫,関 なおみ:日本における甲状腺がんによる死亡の歴史的状況,東京健安研セ年報,65,269-274,2014.
- ・富士栄聡子、小西浩之、生嶋清美、他:東京都における原子力発電所事故後の放射能測定室の汚染防止対策及びモニタリングポストの異常値の解析事例、平成25年度放射線監視結果収集調査検討会(東京)、2014.
- ・小西浩之,富士栄聡子,保坂三継,他:都内のモニタ リングポストのスペクトル解析から見た水道水への放 射性物質の混入原因の考察,第48回日本水環境学会年 会(宮城),2014.
- ・小西浩之, 冨士栄聡子, 保坂三継, 他:環境衛生行政 に従事する技術系職員への環境放射能研修の実施, 第 51回アイソトープ・放射線研究発表会(東京), 2014.
- ・富士栄聡子,小西浩之,生嶋清美,他:福島原発事故 による都内の放射線量及び放射性降下物量の推計の試 み,第51回アイソトープ・放射線研究発表会(東京), 2014.
- ・小杉有希,鈴木俊也,松浦里江,他:農地における土 壌中の非放射性セシウムの鉛直方向への移動調査,第 51回アイソトープ・放射線研究発表会(東京),2014.
- 小西浩之, 冨士栄聡子, 金子雅信, 他: 簡易な線量計の測定特性の検討, 平成25年度地方衛生研究所全国協議会関東甲信静支部理化学部第26回理化学研究部会総会・研究会(茨城), 2014.
- ・富士栄聡子,小西浩之,保坂三継,他:放射能測定室 及び測定試料調製時における汚染防止対策,平成25年 度地方衛生研究所全国協議会関東甲信静支部第26回理 化学研究部会総会・研究会(茨城),2014.

2015年

・小西浩之, 冨士栄聡子, 生嶋清美, 他:東京都新宿区 における福島第一原子力発電所事故後の空間線量率と ガンマ線スペクトルの経時変化, RADIOISOTOPES, **64**(3), 185-195, 2015.

- ・小西浩之, 冨士栄聡子, 生嶋清美, 他: 簡易型線量計の 測定特性の検討, 環境放射能除洗学会誌, 3(1), 25-32, 2015.
- ・小西浩之, 富士栄聡子, 保坂三継, 他:福島原発事故 後の都内の空間線量質の変動要因及び今後の推移, 第 52回アイソトープ・放射線研究発表会(東京), 2015.
- ・冨士栄聡子,小西浩之,鈴木俊也,他:モニタリング ポスト測定データのスペクトル解析による¹³⁴Csの都内 沈着量の試算,第52回アイソトープ・放射線研究発表 会(東京),2015.
- ・小杉有希,鈴木俊也,保坂三継,他:都内土壌におけ る非放射性セシウムの鉛直方向の土壌中移行調査,第 135回日本薬学会年会(神戸),2015.
- ・冨士栄聡子,小西浩之,生嶋清美,他:OJTによる環境 放射能検査従事者の育成,平成26年度地方衛生研究所 全国協議会関東甲信静支部第27回理化学研究部会総会
 ・研究会(東京), 2015.
- ・生嶋清美、小西浩之、冨士栄聡子、他:身近に存在す る放射線源に含まれる放射性核種についての調査,平 成26年度地方衛生研究所全国協議会関東甲信静支部第 27回理化学研究部会総会・研究会(東京),2015.

Studies on the Influence and Future Trend of Nuclear Accident-Origin Radioactive Pollution in Tokyo Metropolitan Area

Mitsugu HOSAKA^a, Hiroyuki KONISHI^a, Satoko FUJIE, Yuki KOSUGI^a, Kazuo IKEDA^a, Toshinari SUZUKI^a and Yoko NADAOKA^a

In this paper, we summarize the main outcomes of the overriding study-project of the Tokyo Metropolitan Institute of Public Health "Studies on the Influence and Future Trend of Nuclear-Accident Origin Radioactive Pollution in Tokyo Metropolitan Area," which was conducted from 2012 to 2014. The main outcomes of the constituent studies are as follows.

1) The study "Time Variation and Fluctuation Factors of Air Dose Rates after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plants Accident" highlighted the radionuclides responsible for several marked increases in radiation after the Fukushima Daiichi Nuclear disaster and the resulting radioactive pollution in Tokyo. In addition, the fallout level of cesium-137 (¹³⁷Cs) at seven points in the Tokyo Metropolitan area at the time of or just after the nuclear accident was estimated and we obtained presumptive air dose rate for Tokyo in the year 2020. 2) In the study "Evaluation of Radioactive Pollution by Fallout in Tokyo Metropolitan Area," we summarized the historical trend in radionuclide fallout in Tokyo from 1963 (the inaugural year of the environmental radiation monitoring program in Tokyo) until present and compared it to the situation that arose because of the Fukushima Daiichi nuclear power plants disaster. We also analyzed the concentrations and fluctuations of radioactive cesium remaining in the soil and in monthly fallout. This analysis indicated that the residual radioactive cesium level in monthly fallout and tap water would decrease to an almost undetectable level by around 2020. 3) The study "Possibility examination on radioactive pollution of groundwater in Tokyo" revealed that non-radioactive cesium spread over cultivated or non-cultivated land did not reach a soil depth of 30–40 cm until 2 years after spreading. The modeling software HYDRUS-1D used for the analysis of one-dimensional water flow and solute transport in variably saturated porous media was employed to simulate the vertical migration of cesium. As a result, it was presumed that cesium spread over land would reach a 1 m depth (the depth of the shallowest drinking well aquifer) after 78 years and that the peak cesium concentration in soil at this depth would be 0.4 Bq/kg.

4) In the study "Relationship between radioactive pollution and death trends in Tokyo and Japan," historical and geographical death trends due to malignant neoplasms, leukemia and thyroid cancer in Tokyo and Japan were statistically analyzed using the Structural Array Generator and information on the number of deaths from the early- or mid-20th century to today (available from vital statistics). Results showed that no indication of a relation with radioactive pollution was observed at present.

Keywords: Fukushima Daiichi nuclear disaster, monitoring post, air dose rate, fallout, cesium-134 (¹³⁴Cs), cesium-137 (¹³⁷Cs), non-radioactive cesium, migration in soil, simulation, groundwater, malignant neoplasms, leukemia, thyroid cancer, vital statistics, age-standardized mortality rate

 ^a Tokyo Metropolitan Institute of Public Health,
 3-24-1, Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0073, Japan